



## **AVALIAÇÃO DO USO DE PÉRGULAS PARA AUMENTAR A VENTILAÇÃO NATURAL EM ESPAÇOS DE SALA DE AULA**

**Lívia Melo de Lima (1); Christhina Cândido (2); Leonardo S. Bittencourt (3)**

(1) Bolsista PIBIC/CNPq - E-mail: [liviamelo@ctec.ufal.br](mailto:liviamelo@ctec.ufal.br)

(2) Bolsista CAPES, Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado

(3) Professor Adjunto Depto. Arquitetura e Urbanismo/UFAL

(1) (2) (3) Universidade Federal de Alagoas, Depto. de Arquitetura e urbanismo, Campus A C Simões, Tabuleiro do Martins, Maceió-AL, CEP 57072-970, Fones: 214-1283.

### **RESUMO**

Em regiões de clima quente e úmido, a ventilação natural através de componentes porosos tem se constituído em uma das estratégias mais eficientes para obtenção do conforto térmico. Esse trabalho examina a influência da utilização de pérgulas no comportamento da ventilação natural em espaços de sala de aula. O estudo da ventilação natural foi baseado nas simulações do *software PHOENICS 3.4*. Os resultados são apresentados graficamente por vetores e campos de velocidade do ar. Primeiramente, foi examinado o desempenho da ventilação em salas de aula típicas, com 36 m<sup>2</sup> e 3 m de pé-direito. Em seguida, foram investigados protótipos com configuração semelhante, onde foram inseridos pergulados, inclinados a 90° e 45°, localizados a sotavento das salas. O desempenho destas pérgulas foi examinado, tanto isoladamente, quanto em conjunto com a inserção de um anteparo vertical, localizado a barlavento das pérgulas. Todos os modelos foram analisados com ângulo de incidência dos ventos de 90°, considerando-se a velocidade externa do vento de 1 m/s. Com a implementação das pérgulas observamos o incremento da ventilação natural em relação à configuração sem as pérgulas, contribuindo para o conforto térmico através de vias passivas e aumentando à produtividade dos alunos e a eficiência energética da edificação.

### **ABSTRACT**

In warm humid climates ventilation through porous components has been used as one of the most efficient strategies to achieve thermal comfort. This paper examines the influence of using pergolas in natural ventilation performance in classrooms. The investigation was carried out using *PHOENICS 3.4* software. Results are graphically presented as vector and air velocity fields. First, ventilation performance was examined in a typical classroom, having 36 m<sup>2</sup> and 3 m height. Then, in a similar configuration it was examined the effect produced by the insertion of pergolas, placed at leeward side of the classroom and tilted 90° e 45°. The influence of pergolas was considered alone and combined with a vertical wall placed at windward of the pergolas. The wind was considered as blowing perpendicular to the pergolas with a velocity of 1 m/s. It was observed that the introduction of the pergolas produced an increment in the mean air velocity inside classrooms, contributing to improve thermal comfort through passive means, students productivity as well as the building energy efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

No ano de 2001 o Brasil sofreu uma grave crise energética, devido, em grande parte, ao baixo nível das águas nos reservatórios das hidrelétricas nacionais, pela ausência de investimentos do governo neste setor, como também, pelo aumento do consumo de energia elétrica. O anúncio da crise e a divulgação de medidas de racionamento de energia elétrica geraram uma série de discussões sobre os impactos causados na economia, e, sobretudo, no cotidiano dos usuários.

No âmbito da construção civil buscaram-se medidas para reduzir o consumo de energia elétrica. Uma das formas de obter o conforto térmico seria a utilização de refrigeração por vias passivas, reduzindo-se a utilização de meios mecânicos. Nesse sentido, construir visando à obtenção do conforto térmico através da máxima utilização dos recursos naturais tornou-se uma necessidade diante do panorama da evolução do consumo em relação à disponibilidade de energia elétrica (MASCARÓ, 1991). A construção de edificações bioclimáticas, adaptadas ao clima local, seja através do uso de novos materiais ou através dos arranjos arquitetônicos, podem contribuir para a diminuição do uso de meios artificiais para obtenção do conforto térmico. A inadequação do edifício ao clima regional pode proporcionar a sensação de desconforto térmico dos usuários, acarretando a diminuição no rendimento das atividades desenvolvidas no seu interior, além do desperdício energético (GIVONI, 1991).

Em regiões de clima quente e úmido, como é o caso de Maceió, a ventilação natural associada à proteção solar constitui o meio mais eficiente de se obter conforto térmico por vias passivas, isto é, sem o uso de equipamentos mecânicos (ALLUCI, 1988; ARENS, 1984, ASHLEY, 1984). A ventilação natural afeta consideravelmente as condições de conforto térmico de determinado ambiente, por acelerar as trocas térmicas entre o homem e o meio, bem como as condições microclimáticas no interior e em torno das edificações, por acelerar as trocas térmicas por convecção entre as envolventes e o ar.

Dessa forma, o clima de Maceió, diferentemente de outros climas, possibilita que as aberturas das edificações sejam mais generosas, permitindo o melhor aproveitamento dos ventos locais. A ventilação natural, além de permitir o conforto térmico como estratégia de um bom projeto bioclimático, é responsável também pela redução de energia nas edificações. Em edifícios dotados de poucos recursos financeiros, como é o caso dos edifícios públicos, a adoção de padrões arquitetônicos mais adequados às condições climáticas regionais poderiam contribuir para minimizar os gastos operacionais de tais ambientes. Este trabalho objetiva investigar o impacto, em relação à ventilação natural, da adoção de pérgulas em espaços de salas de aula, visando o aumento do conforto térmico e a diminuição do consumo de energia elétrica nesses ambientes.

As pérgulas são capazes de proteger da chuva e sombrear raios solares, ao mesmo tempo, sem obstruir a visão do exterior. Movimentos do ar são ativados por diferenças de temperatura consideráveis entre as áreas sombreadas do piso e as estruturas da proteção solar do telhado, no qual o ar fresco é direcionado para baixo. Entretanto, as pérgulas são elementos construtivos ainda pouco investigados no que se refere ao seu desempenho ambiental e pouco explorados pelos arquitetos locais. Estes dispositivos permitem a circulação do ar e a proteção solar, além de promover a integração entre os espaços interiores e exteriores, sendo assim, peculiar ao clima quente e úmido.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho consiste na comparação do desempenho, em relação à ventilação natural, de uma configuração típica de sala de aula encontrada em Maceió, com aquele obtido em ambiente semelhante, porém dotado de pergulado. Investigou-se também o comportamento da ventilação natural com a inserção do anteparo vertical, visto que, esta condição pode se apresentar em um projeto arquitetônico, ou através de um elemento de fachada ou um edifício.



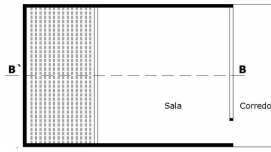
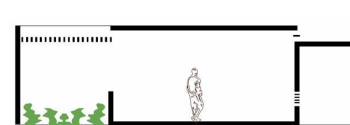

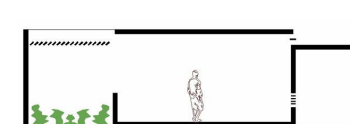
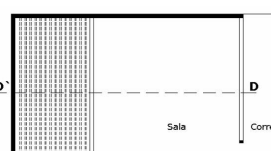
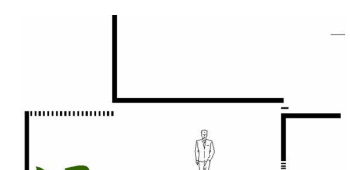

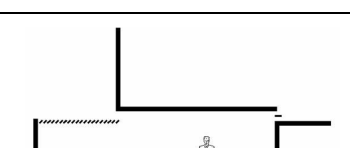
A investigação destes dispositivos se deu através de simulações computacionais utilizando o *software PHOENICS 3.4*, baseado na Dinâmica dos Fluidos Computacional. Os resultados são apresentados na forma de vetores ou campos de velocidade do ar, sendo possível identificar o direcionamento, o sentido e a velocidade dos fluxos de ar, assim como sua distribuição no ambiente interno. Os resultados das simulações podem representar o desempenho da ventilação natural tanto no exterior quanto no interior da edificação.

## 2.1 Configuração dos protótipos analisados

Para a análise dos protótipos foram construídos 5 modelos computacionais. O modelo 1, considerado como referência para os demais, foi construído considerando-se uma sala de aula típica, com dimensão é de 6,00 x 6,00 m e pé-direito de 3,00 m. Considerou-se uma abertura voltada para o corredor e outra para a sala. A abertura voltada para o corredor mede 0,50 m de altura e localiza-se entre a laje da sala e o corredor. A abertura voltada para o exterior possui 2,50 m de altura e peitoril de 0,50 m. Essas dimensões foram também adotadas para os modelos 2, 3, 4 e 5.

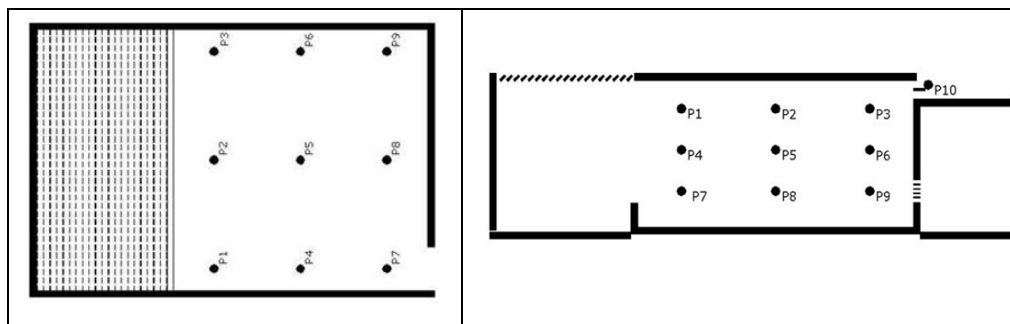
Nos modelos 2 e 3 foram inseridas pérgulas com altura de 0,15m e afastamento de 0,15m entre si. Nos modelos 3 e 4, além das pérgulas, foi inserido um anteparo vertical situado a barlavento com 3m de altura a partir da laje do teto da sala, visando analisar a influência deste dispositivo em conjunto com as pérgulas no comportamento da ventilação natural, ver (Tabela 1). O plano de análise é de 0,85m – altura dos usuários sentados e o ângulo de incidência dos ventos é de 90°, em relação ao às janelas.

**Tabela 1.** Descrição de todos os modelos analisados.

Modelo	Descrição	Planta baixa	Corte	Ângulo de incidência dos ventos
<b>Modelo 1</b>	Sala de aula típica			90°
<b>Modelo 2</b>	Modelo com pérgulas inclinadas a 90°			90°
<b>Modelo 3</b>	Modelo com pérgulas inclinadas a 45°			90°
<b>Modelo 4</b>	Modelo com pérgulas inclinadas a 90° e anteparo a barlavento			90°
<b>Modelo 5</b>	Modelo com pérgulas inclinadas a 90° e anteparo a barlavento			90°

Para efeito de análise foi considerada uma grelha distribuída em nove pontos, tanto em planta baixa como em corte, figura 1. Este sistema de grelhas permitiu uma melhor análise quanto à distribuição do

fluxo de ar na sala, notadamente, na representação gráfica do comportamento da ventilação natural, através de vetores.



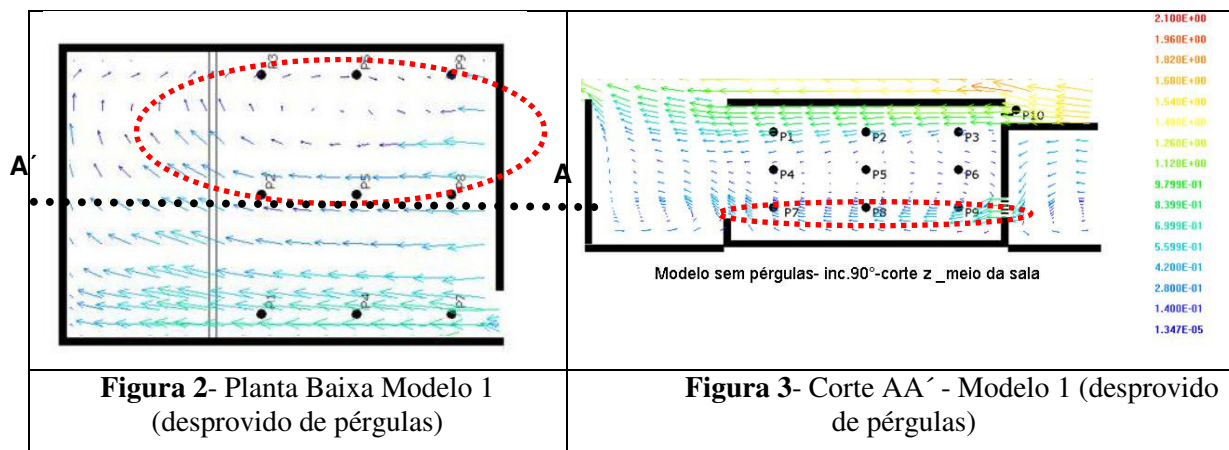
**Figura 1.** Configuração da grelha em planta baixa e em corte.

A velocidade do vento externa considerada de 3,00 m/s, obtida a partir da velocidade média do vento em Maceió, medida na estação meteorológica a 10 m de altura. Aplicando-se valores de correção (BRE, 1978) para altura das aberturas e considerando-se a inserção das escolas na malha urbana, obteve-se o valor de 1,15 m/s, que para efeito das simulações foi arredondado para 1 m/s.

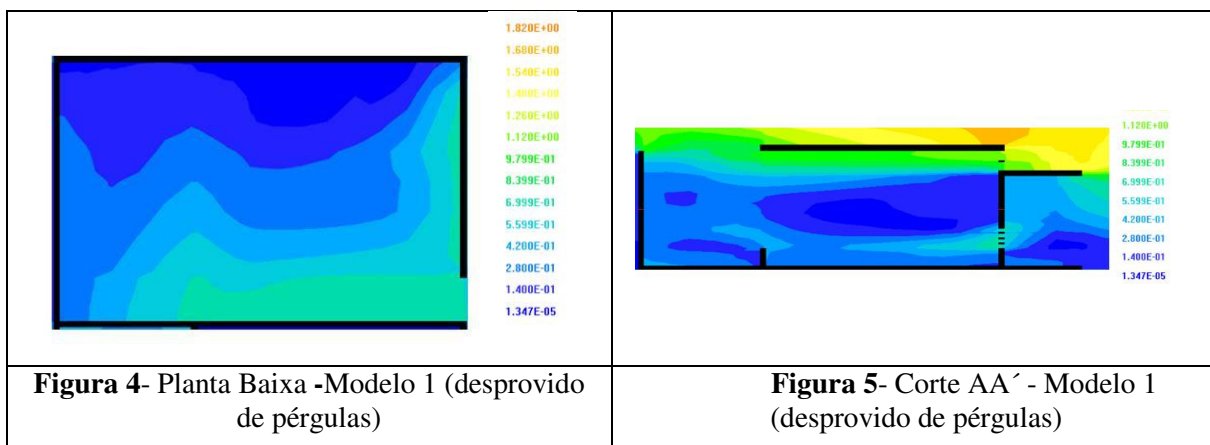
### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1. Modelo 1 referência

No modelo 1, constatou-se uma baixa uniformidade na distribuição dos ventos, gerando uma zona de turbulência na lateral da sala de aula (figura 2). Ao analisar a porção central da sala, corte AA', observa-se uma distribuição mais uniforme dos ventos devido a uma menor zona de recirculação do ar (figura 3).

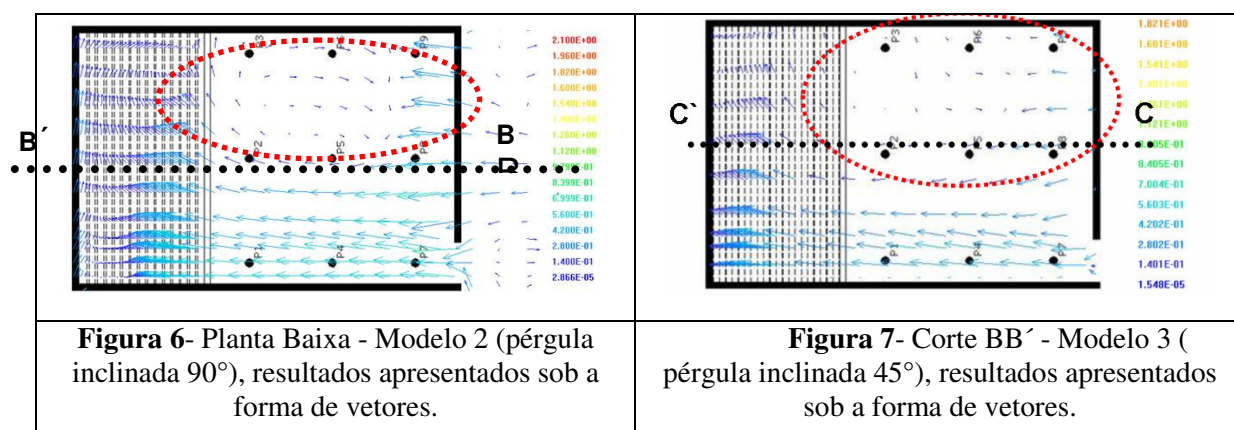


No modelo 1 foram constatadas velocidades de até 0.8 m/s no sentido longitudinal da porta, atingindo uma velocidade de 0.4 m/s no meio da sala, figura 3. Observa-se um decréscimo da velocidade dos ventos no sentido da porta para a lateral da sala de aula. A região de menor velocidade dos ventos é o lado oposto à porta, constatando um valor de 0.14 m/s, figura 4). Em relação ao corte AA' foi constatada uma velocidade dos ventos de até 0.6 m/s em quase todo o sentido longitudinal do corte, figura 5.

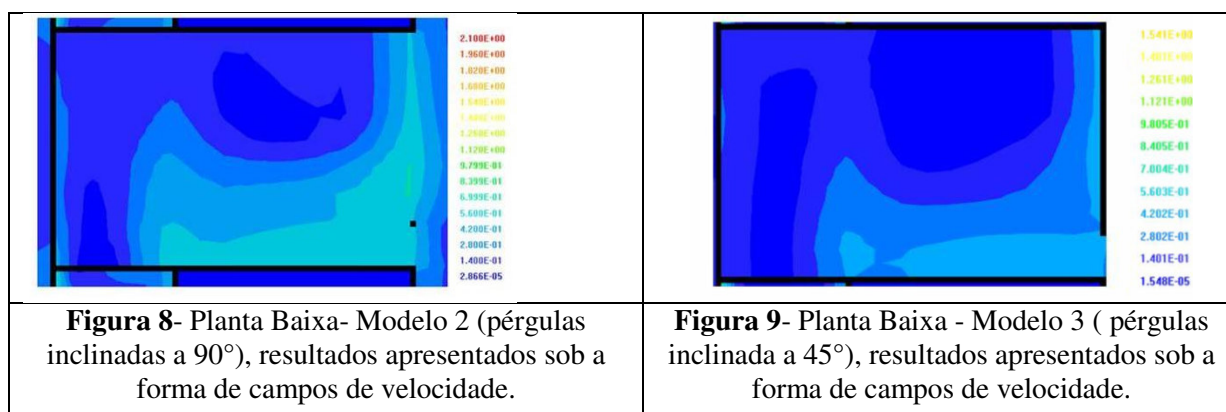


### 3.2. Modelos 2 e 3 com inserção de pérgulas

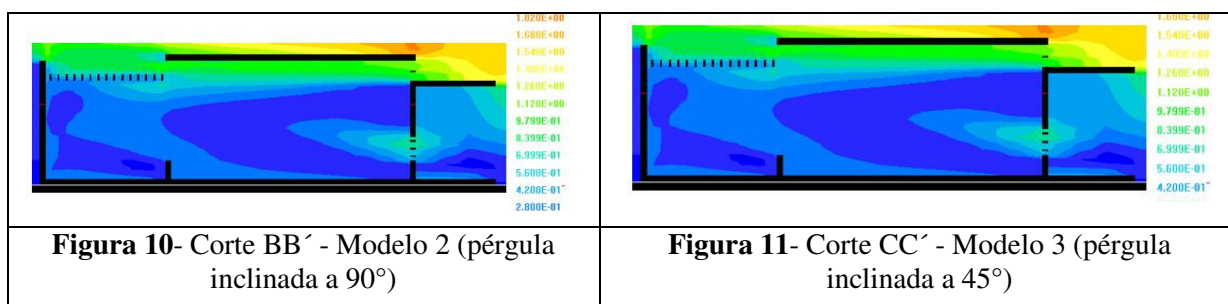
No modelo 2, com pérgulas inclinadas a 90°, foram constatadas zonas com baixas velocidades do ar ocupando metade da sala de aula, figura 6). Em relação ao modelo 3, com pérgulas a 45°, foi constatadas uma extensa zona de recirculação de ar com baixas velocidades em grande porção da sala de aula, localizadas nas proximidades dos pontos: p2, p3, p5, p6, p8 e p9, figura7.



O modelo 2 obteve a maior velocidade nas proximidades das aberturas de entrada do ar de 0.7 m/s e a menor 0.2 m/s, nas proximidades da lateral da sala, devido à zona turbulenta de velocidades baixas neste mesmo local, figura 8. As velocidades dos ventos encontradas no modelo 3 foram em torno de 0.14m/s, em quase todo o espaço da sala de aula, e uma variação de velocidade entre 0.3 m/s e 0.4 m/s localizados próximo às aberturas de entrada de ar, figura 9.



No corte BB' do modelo 2 (pérgula inclinada 90°), observa-se uma velocidade dos ventos de 0.4 m/s, próxima às lâminas horizontais inferiores do corte BB', representadas pelas manchas em tom de azul claro, figura 10. No corte CC' do modelo 3, constatou-se a mesma velocidade de 0.4m/s nas proximidades dos elementos vazados inferiores, figura 11.



Os resultados demonstram que a velocidade dos ventos no meio do ambiente do modelo 2 alcança 0.4 m/s; enquanto no modelo 3, neste mesmo local, a velocidade dos ventos é de 0.14 m/s. Este resultado representa um ganho de 70% na velocidade do vento do modelo 2 em relação ao modelo 3, tal fato pode ser explicado pelo aumento à resistência da passagem do ar ao se diminuir a área de abertura entre as pérgulas, ocasionado pela inclinação destas as 45°. Ao comparar os resultados obtidos foi observada uma melhor distribuição na velocidade dos ventos, localizados no meio da sala, do modelo 2 em comparação ao modelo 3, devido a uma diminuição dos vórtices nesta região.

Foram analisados e tabulados os dados quantitativos e qualitativos da ventilação no interior do ambiente, constatando assim, melhor desempenho quanto à distribuição do fluxo de ar no modelo 1 em relação ao modelo 2. No entanto, em relação à velocidade média nos 9 pontos considerados, o resultado foi o oposto: o modelo 2 obteve resultados mais significativos quando comparado ao modelo 1, como mostra a tabela abaixo, ver (Tabela. 2).

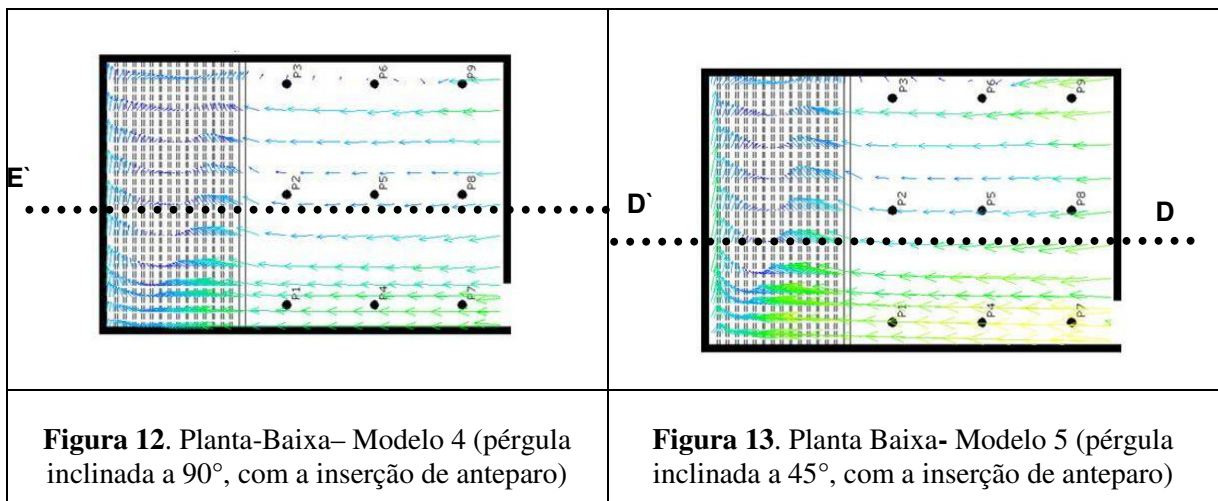
**Tabela. 2-** Velocidade Média dos modelos de referência (incidência dos ventos 90°)

Modelo	Velocidade média (m/s)
Modelo1, sem pérgulas.	0,4 m/s
Modelo 2, com pérgulas a 90°.	0,6 m/s
Modelo 3, com pérgulas a 45°.	0,3 m/s

### 3.3. Modelos 4 e 5, com pérgulas e com anteparos;

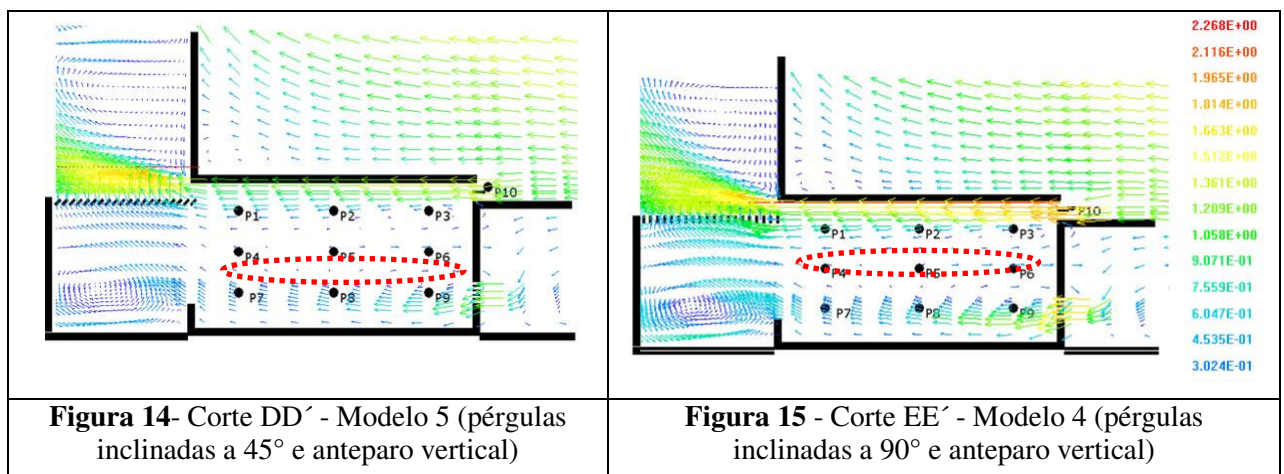
Observou-se nos modelos 4 e 5 uma semelhança na direção e sentido dos vetores, dispostos de forma alinhada e paralela, permitindo uma distribuição uniforme da ventilação em todo o espaço da sala de aula, ver Fig. 12 e Fig. 13. Outro aspecto observado foi à redução de zonas de formação de vórtices. A distribuição uniforme do fluxo de ar pode produzir resultados mais apropriados, reduzindo as correntes de ar e prevenindo a formação de zona de recirculação ou bolsões de ar estagnado (BITTENCOURT, 1993).



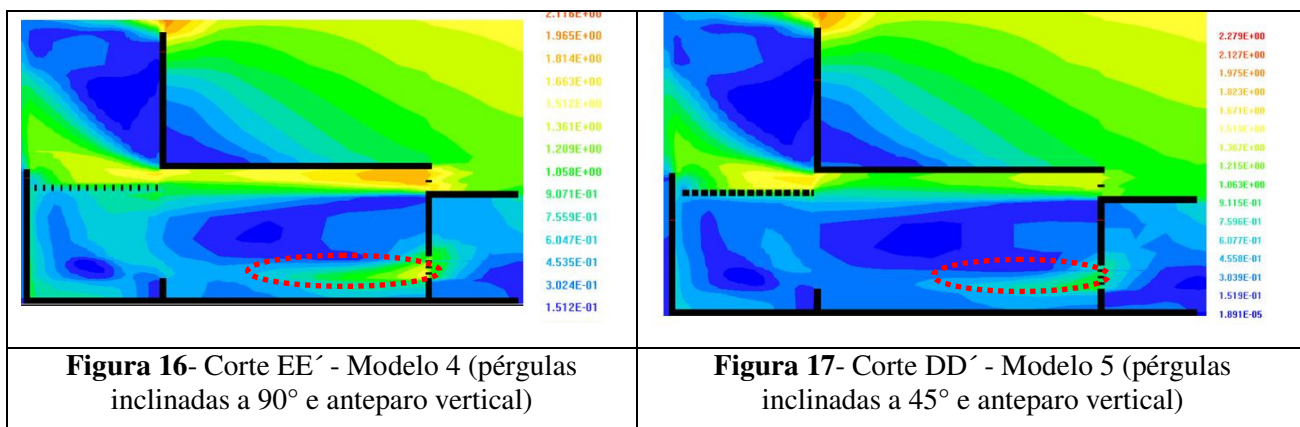


Mesmo com a introdução do anteparo, foi observado que a velocidade dos ventos tornou-se diferenciada nos modelos 4 e 5, devido às inclinações das pérgulas de 90° e 45°, fato semelhante ao observado nos modelos dotados de pérgulas e desprovidos de anteparos.

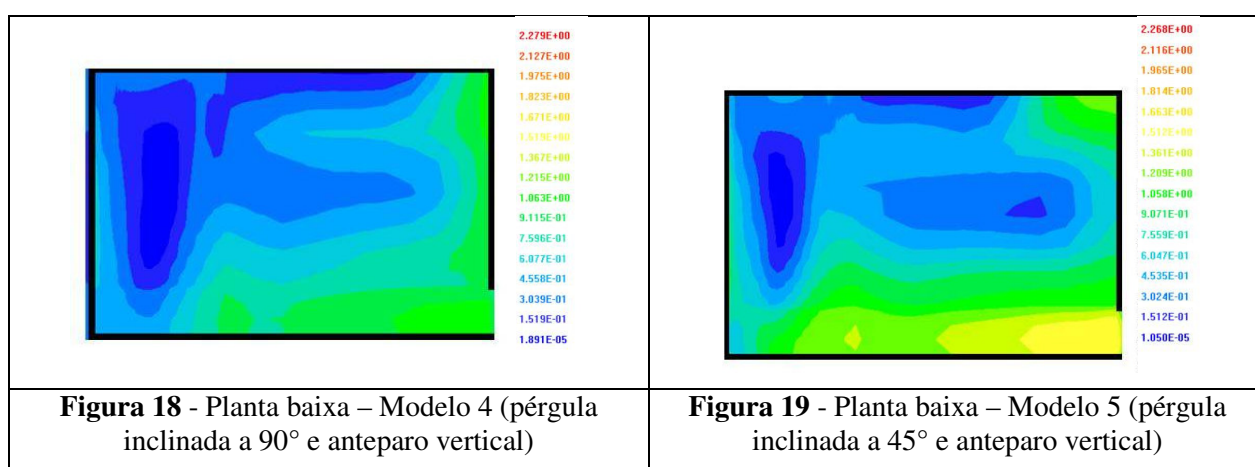
A inserção do anteparo afetou o campo de pressão do edifício entre as aberturas, esta modificação proporcionou o efeito de sucção nas proximidades do anteparo, favorecendo maior ventilação no interior do edifício.



Constatou-se também no corte EE' do modelo 4 uma expansão da mancha verde, que representa uma velocidade de 1.2 m/s, atingindo o meio da sala (Fig. 16). Ao considerar a velocidade dos ventos externa de 1 m/s foi constatado um incremento de 0.2 m/s no interior das salas de aula, devido à aceleração do fluxo na entrada do ar. No corte DD' do modelo 5 observa-se que a velocidade de 1.2 m/s, representada pela mancha verde, se encontra próximo às lâminas horizontais inferiores (Fig. 17). Em grande porção da sala de aula constata-se uma velocidade dos ventos de 0.7 m/s, atingindo assim, os níveis de conforto considerados nesse trabalho.



O modelo 4 obteve uma média da velocidade de 1 m/s; enquanto no modelo 5 constatou-se uma média da velocidade de 0.5 m/s; um diminuição de 50% na velocidade dos ventos, figuras 18 e 19.



**Tabela. 3-** Velocidade média dos modelos providos de anteparo (incidência dos ventos 90°)

Modelo	Velocidade média (m/s)
Modelo 4	1 m/s
Modelo 5	0,5 m/s

Com a inserção do anteparo vertical foi constatado um bom desempenho da ventilação no interior do ambiente, devido ao aumento da pressão negativa na saída do ar e à diminuição de vórtices, apresentando então, uma melhor distribuição dos ventos.

Os dados referentes ao modelo 4 demonstraram uma melhor extração do fluxo de ar através das pérgulas, havendo um incremento de 50% da velocidade dos ventos comparado ao modelo 5. Desta maneira, na condição estudada percebe-se que é possível utilizar pérgulas em regiões de clima quente e úmido, podendo melhorar o rendimento nas atividades desenvolvidas no interior das escolas de aula.



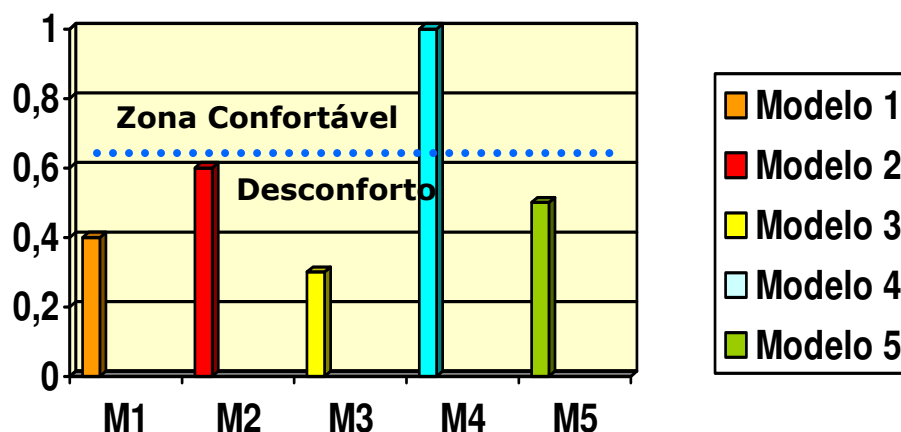


Figura 20 – Gráfico da velocidade média dos modelos investigados.

#### 4. CONCLUSÕES

O trabalho demonstra o potencial de utilização de pergulados em ambientes de sala de aula. Somado a utilização de anteparos verticais, o potencial de succionar o ar do ambiente foi potencialmente elevado, proporcionando uma aceleração dos ventos no interior da sala de aula e uma melhor distribuição do fluxo de ar. A utilização destes dispositivos pode ser interessante para regiões de clima quente e úmido, por otimizar a ventilação natural nas salas de aula e permitir a sensação de conforto térmico dos usuários, e ainda, diminuir a dependência de energia elétrica.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLUCCI, M. *Critérios Relativos ao Atendimento das Exigências de Ventilação na Habitação*. In: *Tecnologia da Construção*, IPT/Divisão de Construção. São Paulo: IPT/Pini Ed., 1988.
- ARENS, E. A., BLYHOLDER, A. G. and SCHILLER, G. E. *Predicting Thermal Comfort of People in Naturally Ventilated Buildings*. In: *ASHRAE Transactions*; vol. 90; n°. 1B; pp 272-284. Atlanta: ASHRAE, 1984.
- ASHLEY, S., SHERMAN, M. *The Calculation of Natural Ventilation and Comfort*. In: *ASHRAE Transactions*; vol. 90; n°. 1B; pp. 253-271. Atlanta: ASHRAE, 1984.
- BITTENCOURT, L. S. *Ventilation as a Cooling Resource for Warm Humid Climates: An Investigation on the Influence of Geometric Aspects of Perforated Block Walls to Improve Ventilation Inside Low-Rise Buildings*. Londres, 314 p. PhD Thesis for the Environment and Energy Studies Programme, Architectural Association Graduate School, 1993.
- BRE - Building Research Establishment. *Principles of Natural Ventilation*. Garston: BRE Digest n°. 210, 1978.
- GIVONI, B. Performance and Aplicability of Passive and Low Energy Cooling Systems. In: *Energy and Buildings*, vol. 17, 1991, pp. 177-199. Lausane: Elsevier Sequoia, 1991.
- MASCARO, L. *Energia na edificação - estratégias para minimizar seu consumo*. São Paulo: Ed. Projeto, 1991, 214p.